

15. 6. 2004

日 本 国 特 許 庁  
JAPAN PATENT OFFICE

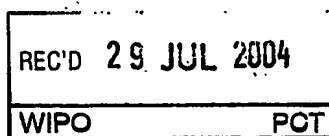
別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日  
Date of Application: 2 0 0 3 年 7 月 3 1 日

出 願 番 号  
Application Number: 特 願 2 0 0 3 - 2 0 4 9 5 0  
[ST. 10/C]: [ J P 2 0 0 3 - 2 0 4 9 5 0 ]

出 願 人  
Applicant(s): T D K 株式会社

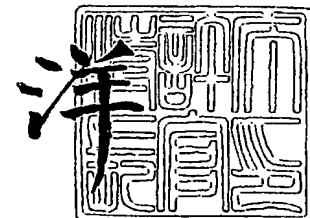


PRIORITY DOCUMENT  
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH  
RULE 17.1(a) OR (b)

2 0 0 4 年 7 月 1 5 日

特許庁長官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

小 川



BEST AVAILABLE COPY

【書類名】 特許願

【整理番号】 99P05707

【提出日】 平成15年 7月31日

【あて先】 特許庁長官 殿

【国際特許分類】 G02B 5/00  
G02B 6/00

【発明者】

【住所又は居所】 東京都中央区日本橋一丁目 1 3 番 1 号 T D K株式会社  
内

【氏名】 榎戸 靖

【特許出願人】

【識別番号】 000003067

【氏名又は名称】 T D K株式会社

【その他】 平成 1 5 年 6 月 2 7 日付けで名称変更届を提出しております。

【代理人】

【識別番号】 100100077

【弁理士】

【氏名又は名称】 大場 充

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 085823

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 フォトニック結晶の製造方法およびフォトニック結晶

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 第 1 の誘電体としての誘電体セラミックスと第 2 の誘電体としての空気とを周期的に配置したフォトニック結晶の製造方法であって、

前記誘電体セラミックスを含み、かつ厚さ方向に貫通する孔が所定パターンに形成されたセラミックス組成体を積層して、所定パターンの空隙が周期的に配置された誘電体ブロックを得る工程を少なくとも含むことを特徴とするフォトニック結晶の製造方法。

【請求項 2】 前記セラミックス組成体は、シート状部材を穿孔して得られることを特徴とする請求項 1 に記載のフォトニック結晶の製造方法。

【請求項 3】 前記セラミックス組成体は、印刷工法で得られることを特徴とする請求項 1 に記載のフォトニック結晶の製造方法。

【請求項 4】 前記セラミックス組成体の積層は、前記印刷工法を用いて行われることを特徴とする請求項 3 に記載のフォトニック結晶の製造方法。

【請求項 5】 前記誘電体ブロックは、前記所定パターンの空隙が表裏面を貫通しており、その空隙内に空気が配置されることを特徴とする請求項 1～4 のいずれかに記載のフォトニック結晶の製造方法。

【請求項 6】 前記フォトニック結晶は 2 次元周期構造を有することを特徴とする請求項 1～5 のいずれかに記載のフォトニック結晶の製造方法。

【請求項 7】 第 1 の誘電体と、  
前記第 1 の誘電体と異なる比誘電率を有する第 2 の誘電体とを備え、  
前記第 1 の誘電体と前記第 2 の誘電体とが所定の周期で配置されるフォトニック結晶であって、

直径 2 mm 以下の空隙が所定パターンに形成された誘電体セラミックスからなる誘電体ブロックが前記第 1 の誘電体を構成し、

前記空隙内に存在する空気が前記第 2 の誘電体を構成することを特徴とするフォトニック結晶。

【請求項 8】 前記フォトニック結晶は 2 次元周期構造を有することを特徴

とする請求項 7 に記載のフォトニック結晶。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、フォトニック結晶の製造方法およびフォトニック結晶に関する。

【0002】

【従来の技術】

近年、誘電率を周期的に変化させたフォトニック結晶が注目を浴びている。フォトニックバンドギャップ（以下、単に「バンドギャップ」という）を発現するフォトニック結晶は、光および電磁波を制御する素子として使用可能である。例えば、フォトニック結晶中に欠陥を設け、光導波路を形成することで、フォトニック結晶を伝送線路として使用することが可能である（例えば、特許文献 1、2 参照）。

フォトニック結晶は、誘電率の周期構造が 2 次元である（以下、「2 次元周期構造」という）フォトニック結晶と、誘電率の周期構造が 3 次元である（以下、「3 次元周期構造」という）フォトニック結晶とに大別される。

初めて作製されたフォトニック結晶は、図 7 に示す、3 次元周期構造の「ヤブロノバイト (Yablonovite)」である（非特許文献 1 参照）。図 7 に示すように、ヤブロノバイトは、誘電体ブロック 81 に所定間隔で三角配置された開口部 82 の各々から、その法線に対し  $35.26^\circ$  の角度で 3 方向から  $120^\circ$  の間隔で穿孔されることで作製される。なお、図 7 において、符号 82a ~ 82c は、穿孔方向を示している。

【0003】

ヤブロノバイト以降、2 次元周期構造および 3 次元周期構造を問わず、数多くのフォトニック結晶が提案されている。それらのフォトニック結晶はマイクロマシン技術、ウエハー融着、半導体微細加工技術、自己クローニング技術、2 光子吸収を用いたポリマーの重合反応、光造形法およびドライエング法等（以下、「マイクロマシン技術等」と総称する）を用いて作製されている。

マイクロマシン技術等を用いた方法の他には、エピタキシャル結晶成長方法を

用いてフォトリソグラフィ法を用いてフォトニック結晶を作製する方法（特許文献1参照）やマウンター機器を使用した方法（特許文献2参照）が提案されている。

#### 【0004】

##### 【特許文献1】

特開 2001-237616号公報（特許請求の範囲）

##### 【特許文献2】

特開 2001-237617号公報（特許請求の範囲）

##### 【非特許文献1】

e. Yablonovitch, T. J. Gmitter and K. M. Leung: Phys. Rev. Lett. 67, 2295 (1991)

#### 【0005】

##### 【発明が解決しようとする課題】

フォトリソグラフィ法を用いてフォトニック結晶を作製する方法（特許文献1参照）も提案されているが、エピタキシャル結晶成長が可能な誘電体の種類は自ずと限定されるとともに、所定の厚さまで誘電体をエピタキシャル結晶成長させるには膨大な時間を要する。さらに、マウンター機器を使用した方法（特許文献2参照）も提案されているが、より簡易かつ短時間でフォトリソグラフィ法を用いてフォトニック結晶を得る技術が求められている。

また、フォトリソグラフィ法を用いてフォトニック結晶を作製する方法（特許文献1参照）も提案されているが、エピタキシャル結晶成長が可能な誘電体の種類は自ずと限定されるとともに、所定の厚さまで誘電体をエピタキシャル結晶成長させるには膨大な時間を要する。さらに、マウンター機器を使用した方法（特許文献2参照）も提案されているが、より簡易かつ短時間でフォトリソグラフィ法を用いてフォトニック結晶を得る技術が求められている。

そこで、本発明は、量産性に優れたフォトリソグラフィ法を用いてフォトニック結晶の製造方法等を提供することを課題とする。また、小型かつ高特性のフォトリソグラフィ法を用いてフォトニック結晶を得る技術、微細なパターンを備えたフォトリソグラフィ法を用いてフォトニック結晶を得る技術を提供することを課題とする。

#### 【0006】

## 【課題を解決するための手段】

かかる目的のもと、本発明者は様々な検討を行った。その結果、誘電体セラミックスを含み、かつ厚さ方向に貫通する孔が所定パターンに形成されたセラミックス組成体を積層して、所定パターンの空隙が周期的に配置された誘電体ブロックを得ることが、フォトリソグラフィ技術を用いて作製する上で極めて有効な方法であることを知見した。誘電体セラミックスは、SiやGaAs等の半導体技術に用いる誘電体や、高分子材料、光硬化樹脂よりも、比誘電率が大きいため、誘電体として誘電体セラミックスを使用することで、フォトリソグラフィ技術の小型化を図ることができる。また、誘電体セラミックスと空気を組み合わせることで、両誘電体の比誘電率の比率を大きくすることができるため、広帯域なバンドギャップが得られる。

また、本発明では、穿孔したセラミックス組成体を積層することで誘電体ブロックに所定パターンの空隙を周期的に配列させる。これにより、特に複雑な工程を要することなく、誘電体ブロックに所定パターンの空隙を短時間で形成することが可能となる。また、穿孔したセラミックス組成体を積層するという新規な手法を採用することで、従来の方法では得ることが困難であった微細なパターンを有するフォトリソグラフィ技術を得ることもできる。誘電体ブロックを予め作製した後に、誘電体ブロックに穿孔して所定パターンの空隙を形成させるという従来の方法では、小径の穿孔用器具が誘電体ブロックに挿入される際、もしくは誘電体ブロックに挿入された後、誘電体ブロックの内部で破損してしまい、最終的に微細なパターンを有するフォトリソグラフィ技術を得ることが困難であった。これに対し、穿孔した薄いセラミックス組成体を予め作製し、これを積層することで所定パターンの空隙が周期的に配列された誘電体ブロックを得ることを特徴とする本発明のフォトリソグラフィ技術の製造方法によれば、従来よりも微細なパターンを有するフォトリソグラフィ技術を得ることもできる。

また、フォトリソグラフィ技術は欠陥を設けることで、光導波路などに使用することができるが、従来の方法で作製した誘電体ブロックの内部に後から点欠陥を導入するのは困難である。これに対し、穿孔したセラミックス組成体を積層することを特徴とする本発明のフォトリソグラフィ技術の製造方法によれば、その内部に点欠陥

が導入された誘電体ブロックを得ることも容易である。

#### 【0007】

本発明のフォトリック結晶の製造方法において、セラミックス組成体は、シート状部材を穿孔して得られるものとすることができる。なお、シート状部材1枚毎に穿孔してもよいし、シート状部材の厚さによっては複数枚重ねて穿孔してもよい。

また、セラミックス組成体は、スクリーン印刷等の印刷工法で得られるものとしてもよい。

セラミックス組成体を印刷工法で得る場合には、セラミックス組成体の積層も印刷工法を用いて行うことができる。

#### 【0008】

本発明では、厚さ方向に貫通する孔が所定パターンで形成されたセラミックス組成体を積層する、という新規な方法で誘電体ブロックを作製している。よって、セラミックス組成体の積層が完了した時点で、誘電体ブロックを、所定パターンの空隙が表裏面を貫通しており、その空隙内に空気が配置されるものとすることができる。誘電体ブロックを作製した後に、誘電体ブロックに対してドライエッチング等を施すことで所定パターンの空隙を形成する方法と比較すると、短時間かつ高い精度で所定パターンの空隙を形成させることができるという点で、本発明の方法は有利である。

以上の本発明のフォトリック結晶の製造方法は、2次元周期構造を有するフォトリック結晶を作製する場合、3次元周期構造を有するフォトリック結晶を作製する場合のいずれであっても適用可能である。つまり、セラミックス組成体に形成する孔のパターンを適宜選択することによって、2次元周期構造のみならず、3次元周期構造のフォトリック結晶を得ることもできる。特に、本発明を2次元周期構造を有するフォトリック結晶を作製するために用いた場合には、フォトリック結晶作製に要する時間を従来よりも大幅に短くすることができる。

#### 【0009】

さらに本発明は、第1の誘電体と、第1の誘電体と異なる比誘電率を有する第2の誘電体とを備え、第1の誘電体と第2の誘電体とが所定の周期で配置される

フォトリック結晶であって、直径 2 mm 以下の空隙が所定パターンに形成された誘電体セラミックスからなる誘電体ブロックが第 1 の誘電体を構成し、空隙内に存在する空気が第 2 の誘電体を構成することを特徴とするフォトリック結晶を提供する。上述した本発明におけるフォトリック結晶の製造方法を用いることで、こうした直径 2 mm 以下という微細な空隙パターンを有するフォトリック結晶を得ることが可能となる。

本発明におけるフォトリック結晶は 2 次元周期構造を有するものとすることができる。但し、直径 2 mm 以下の空隙が所定パターンに形成された誘電体セラミックスからなる誘電体ブロックが第 1 の誘電体を構成し、空気が第 2 の誘電体として存在しているフォトリック結晶である限りは、2 次元周期構造、3 次元周期構造のいずれであっても本発明に包含される。

#### 【0010】

##### 【発明の実施の形態】

本発明は、厚さ方向に貫通する孔が所定パターンに形成されたセラミックス組成体を積層して、所定パターンの空隙が周期的に配置された誘電体ブロックを形成することで、誘電体セラミックスと空気とが 2 次元周期または 3 次元周期で規則的に配置されたフォトリック結晶を作製することを特徴とする。

以下、添付図面に示す実施の形態に基づいてこの発明を詳細に説明する。

#### 【0011】

##### <フォトリック結晶の構造>

図 1 は、本実施の形態におけるフォトリック結晶を示す斜視図である。

第 1 の誘電体 1 と、第 2 の誘電体 2 とを備える。このフォトリック結晶 10 は 2 次元周期構造を備えており、第 2 の誘電体 2 は、フォトリック結晶 10 の表裏面を貫通するように配置されている。

#### 【0012】

本実施の形態におけるフォトリック結晶 10 は、第 1 の誘電体 1 として誘電体セラミックスを使用し、第 2 の誘電体 2 として空気を使用する。

第 1 の誘電体 1 としての誘電体セラミックスは、Si や GaAs 等の半導体技術に用いる誘電体や、高分子材料、光硬化樹脂よりも比誘電率が大きいため、素



子を小型化することが可能となる。誘電体内の波長は比誘電率の平方根に反比例し、比誘電率の大きい材料ほど、波長短縮効果が大きく、素子の小型化に有利であるからである。

一方、第2の誘電体2としての空気は、損失が小さいという利点がある。また、空気の比誘電率が1であるため、第2の誘電体2として空気を用いることで、第1の誘電体1の比誘電率と第2の誘電体2の比誘電率との比率を大きくすることができる。第1の誘電体1の比誘電率と、第2の誘電体2の比誘電率との比率が大きいほど、広帯域なバンドギャップを形成することができる。

このように、第1の誘電体1として誘電体セラミックスを使用し、第2の誘電体2として空気を使用することで、広帯域なバンドギャップを形成することができ、低損失および素子の小型化に有利なフォトニック結晶10を得ることができる。

#### 【0013】

本実施の形態におけるフォトニック結晶10において、第2の誘電体2は直径2mm以下の円柱状の空隙に存在している。詳しくは後述するが、本実施の形態では、厚さ方向に貫通する孔が所定パターンに形成されたセラミックス組成体を積層してフォトニック結晶10を作製しているため、直径2mm以下という微細な空隙をフォトニック結晶10中に形成させることが可能となっている。第1の誘電体1として誘電体セラミックスを使用し、第2の誘電体2として空気を使用することで、両誘電体の比誘電率の比率を大きくして広帯域なバンドギャップを形成しつつ、フォトニック結晶10の強度を高めるには、第2の誘電体2が配置される空隙のサイズを微細化することは有効である。

#### 【0014】

なお、フォトニック結晶10に求められる特性に応じて、第2の誘電体2が配置される空隙の配置、サイズ、形状等を適宜、設定することができる。よって、第2の誘電体2が配置される空隙のサイズを直径2mmを超えるものとする 것도できるし、空隙を円柱状ではなく直方体状とする 것도、もちろん可能である。

#### 【0015】

第1の誘電体1としての誘電体セラミックスは、フォトニック結晶10に求められる特性に応じて、適宜選択される。

上述したように、第1の誘電体1の比誘電率と、第2の誘電体2の比誘電率との比率が大きいほど、広帯域なバンドギャップを形成することができるため、誘電体セラミックスとしては比誘電率の高いものが望ましい。なお、望ましい比誘電率の比率は、最終的に得たいフォトニック結晶10の特性等に依存する。

また、使用する周波数帯域において材料損失が少ない誘電体セラミックスが第1の誘電体1として望ましい。誘電体セラミックスを用いてフォトニック結晶10を作製する場合において、フォトニック結晶10の用途によっては、それらの物質に起因する材料損失は無視することができないからである。損失がほぼゼロであり損失を考慮する必要がない空気と、損失が少ない誘電体セラミックスを用いてフォトニック結晶10を構成することで、フォトニック結晶10を用いた素子を、より一層、低損失のものとすることができる。

#### 【0016】

誘電体セラミックスとしては、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 系セラミックス、 $\text{TiO}_2$ 系セラミックス、 $\text{MgTiO}_3$ 系セラミックス、 $\text{CaTiO}_3$ 系セラミックス、 $\text{SrTiO}_3$ 系セラミックス、 $\text{CaZrO}_3$ 系セラミックス、 $\text{BaZrO}_3$ 系セラミックス、 $\text{MgTiO}_3$ - $\text{CaTiO}_3$ 系セラミックス、 $(\text{Zr}, \text{Sn})\text{TiO}_4$ 系セラミックス、 $\text{BaTi}_4\text{O}_9$ 系セラミックス、 $\text{Ba}_2\text{Ti}_9\text{O}_{20}$ 系セラミックス、 $\text{La}_2\text{Ti}_2\text{O}_7$ 系セラミックス、 $\text{Nd}_2\text{Ti}_2\text{O}_7$ 系セラミックス、 $\text{BaO}$ - $\text{TiO}_2$ -希土類系セラミックス、 $\text{Ba}(\text{Mg}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})_3$ 系セラミックス、 $\text{Ba}(\text{Mg}_{1/3}\text{Ta}_{2/3})_3$ 系セラミックス、 $\text{Ba}(\text{Zn}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})_3$ 系セラミックス、 $\text{Ba}(\text{Zn}_{1/3}\text{Ta}_{2/3})_3$ 系セラミックス、 $\text{CaTiO}_3$ - $\text{NdAlO}_3$ 系セラミックス、 $(\text{Ba}, \text{Pb})\text{Nd}_2\text{Ti}_4\text{O}_{12}$ 系セラミックス、 $(\text{Ba}, \text{Pb})(\text{Nd}, \text{Bi})_2\text{Ti}_4\text{O}_{12}$ 系セラミックス、 $\text{SiO}_2$ 系セラミックス、ガラスコンポジット材料等を用いることができる。これらは単独または2種類以上を混合して使用できる。

ここで、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 系セラミックスとは、組成的には $\text{Al}_2\text{O}_3$ のみを含む系、または $\text{Al}_2\text{O}_3$ に他の少量の添加物を含む系であり、主成分として $\text{Al}_2\text{O}_3$ の結晶構造が保持されているものを意味する。他の系のセラミックスについても同様で

ある。

上述した誘電体セラミックスのうち、代表的なものの比誘電率、 $Q \cdot f$  ( $Q$ 値と周波数の積)、 $\tau f$  (共振周波数の温度係数)を表1に示しておく。表1に示したものうち、比誘電率が高く、低損失、かつ温度特性にも優れたBaO-TiO<sub>2</sub>-希土類系セラミックス、(Ba, Pb)Nd<sub>2</sub>Ti<sub>4</sub>O<sub>12</sub>系セラミックス、(Ba, Pb)(Nd, Bi)<sub>2</sub>Ti<sub>4</sub>O<sub>12</sub>系セラミックスが特に望ましい。

【0017】

【表1】

誘電体セラミックス	比誘電率	$Q \cdot f$ (GHz)	$\tau f$ (ppm/°C)
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	9.8	300000	-55
TiO <sub>2</sub>	104	45000	450
MgTiO <sub>3</sub>	17	110000	-45
CaTiO <sub>3</sub>	170	3600	800
SrTiO <sub>3</sub>	255	1400	1670
CaZrO <sub>3</sub>	28	1400	-20
BaZrO <sub>3</sub>	40	1400	150
MgTiO <sub>3</sub> -CaTiO <sub>3</sub>	21	45000	0
(Zr, Sn)TiO <sub>4</sub>	38	49000	0
BaTi <sub>4</sub> O <sub>9</sub>	38	36000	15
Ba <sub>2</sub> Ti <sub>9</sub> O <sub>20</sub>	40	36000	5
La <sub>2</sub> Ti <sub>2</sub> O <sub>7</sub>	44	1200	-85
Nd <sub>2</sub> Ti <sub>2</sub> O <sub>7</sub>	37	3300	-118
BaO-TiO <sub>2</sub> -希土類	80-90	数 1000	0
Ba(Mg <sub>1/3</sub> Nb <sub>2/3</sub> ) <sub>3</sub>	32	55000	33
Ba(Mg <sub>1/3</sub> Ta <sub>2/3</sub> ) <sub>3</sub>	25	350000	-4
Ba(Zn <sub>1/3</sub> Nb <sub>2/3</sub> ) <sub>3</sub>	41	87000	31
Ba(Zn <sub>1/3</sub> Ta <sub>2/3</sub> ) <sub>3</sub>	30	165000	0
CaTO <sub>3</sub> -NdAlO <sub>3</sub>	43	47000	0-6
(Ba,Pb)Nd <sub>2</sub> Ti <sub>4</sub> O <sub>12</sub>	92	5000	0-6
(Ba,Pb)(Nd,Bi) <sub>2</sub> Ti <sub>4</sub> O <sub>12</sub>	110	2500	0-6

【0018】

フォトリック結晶10の寸法は、使用する周波数に応じて決定する必要がある

。例えば、Kバンド（18～26.5GHz）において4～5周期分（なお、ここでの「周期」は第2の誘電体2を配置する周期を示す）の周期構造としたときに、本実施の形態におけるフォトニック結晶10の寸法は、8～12mm×2～6mm×16～20mm程度である。

#### 【0019】

次に、フォトニック結晶10の製造方法について説明する。

#### ＜第1の実施形態＞

はじめに、いわゆるシート工法を用いて誘電体ブロックを形成し、フォトニック結晶10を得る例を、第1の実施形態として示す。詳しくは後述するが、第1の実施形態では、予め作製した誘電体セラミックスシートに厚さ方向に貫通する孔を所定パターンで形成し、この穿孔された誘電体セラミックスシートを積層することで、所定パターンの空隙が形成された誘電体ブロックを形成する。

#### 【0020】

図2は、第1の実施形態におけるフォトニック結晶10の製造方法のフローチャートである。また、図3は、図2中に示した誘電体ブロック作製工程を模式的に示す図である。

#### 【0021】

図2に示すように、第1の実施形態では、誘電体セラミックス粉末および樹脂等を混合しシート化するシート作製工程、シート作製工程で得られたシートに厚さ方向に貫通する孔を所定パターンに穿孔するシートパンチング工程、所定パターンに穿孔されたシートを積層し誘電体ブロックを得るシート積層工程、誘電体ブロックを所定形状に切り出す切り出し工程、所定形状に切り出された成形体を焼成する焼成工程を含む。

第1の実施形態では、シート作製工程、シートパンチング工程、シート積層工程を経ることで、第1の誘電体1を含む誘電体ブロックが作製される。よって、シート作製工程、シートパンチング工程およびシート積層工程を総称して、適宜、「誘電体ブロック作製工程」と称する。また、誘電体ブロック作製工程を経ることで、第2の誘電体としての空気が、第1の誘電体1を含む誘電体ブロック中に配置されることとなる。

以下、図2に示した各工程について詳述する。

### 【0022】

#### <シート作製工程>

シート作製工程では、まず、誘電体セラミックス粉末、バインダ樹脂および分散媒をボールミルやらいかい機等で混合してスラリーを得る。誘電体セラミックス粉末の平均粒径は $0.1 \sim 20 \mu\text{m}$ 程度とすればよい。平均粒径が $0.1 \sim 20 \mu\text{m}$ 程度の誘電体セラミックス粉末を用いることで、高密度成形を可能としつつ、粉末の凝集を抑制することができ、周期構造を安定して形成することができる。誘電体セラミックス粉末の望ましい平均粒径は $0.5 \sim 10 \mu\text{m}$ 、より望ましい平均粒径は $0.5 \sim 5 \mu\text{m}$ である。

### 【0023】

バインダ樹脂としてはアクリル系樹脂、ブチラール系樹脂、エチルセルロース系樹脂等を用いることができる。また、分散媒としては、アセトン、トルエン、メチルエチルケトン、エタノール等の各種有機溶剤を用いることができる。誘電体セラミックス、バインダ樹脂および分散媒の比率は、それぞれvol%で $10 \sim 40 : 5 \sim 20 : 40 \sim 85$ 程度とすればよい。

なお、必要に応じて、オレフィンマレイン酸コポリマーやオレイン酸等の分散剤をさらに添加することができる。分散剤を添加する場合には、その添加量を誘電体セラミックスに対し、 $0.1 \sim 5 \text{ wt} \%$ 程度とすればよい。

### 【0024】

こうして得られたスラリーを、ドクターブレード法等を用いてフィルム（例えばPETフィルム）上に塗布し、乾燥させ、図3（a）に示すようなグリーンシート（セラミックス組成体、シート状部材）11を得る。

### 【0025】

グリーンシート11には、後述するシートパンチング工程で厚さ方向に貫通する孔が所定パターンに穿孔される。グリーンシート11の厚さが厚すぎると、グリーンシート11を貫通する孔の断面形状がいびつになる。具体的には、シート上面における孔径とシート下面における孔径が相違して台形状となりやすい。孔の断面形状がいびつなグリーンシート11を積層して熱圧着すると、誘電体プロ

ック内の空隙の形状もいびつになり、所望のパターンを形成することができず、最終的に所望のバンドギャップを有するフォトニック結晶10を得ることが困難となるため、好ましくない。一方、グリーンシート11の厚さが薄すぎると、グリーンシート11の強度が低く、ハンドリングが難しい。よって、グリーンシート11の厚さは1~800 $\mu$ m、より望ましくは10~500 $\mu$ m、さらに望ましくは20~200 $\mu$ mの範囲で適宜選択すればよい。但し、望ましいシート厚は穿孔方法にも依存するものであり、穿孔方法に応じて適宜設定する必要がある。

### 【0026】

#### <シートパンチング工程>

図3(b)に示すように、シートパンチング工程では、シート作製工程で得られたグリーンシート11に厚さ方向に貫通する孔hが所定パターンに穿孔される。このパターンは、最終的に得たいフォトニック結晶が2次元周期構造のものか、3次元周期構造のものか、等に応じて適宜決定する。例えば、図1に示した2次元周期構造のフォトニック結晶10を得たい場合には、図4に示すようなパターンを有するパンチを準備すればよい。こうしたパンチを使用することで、グリーンシート11に一工程で複数の孔hを穿孔することができる。なお、グリーンシート11の厚さによっては、グリーンシート11を複数枚重ねてパンチングを行ってもよい。また、図4に示すようなパターンを有するパンチを用いることは必須の要件ではなく、一孔のパンチを用いてグリーンシート11に穿孔してもよい。

所定パターンに穿孔されたグリーンシート11を得るには、パンチングの他に、ドリリング、レーザ照射等の方法が適用可能である。

### 【0027】

ここで、孔hの大きさは、最終的に得たいフォトニック結晶10の特性等に応じて適宜設定する。グリーンシート11、つまりシート状部材に対し、上述したパンチング等の方法で孔hを穿孔することで、ブロック状部材に対してドライエッチング等の方法で穿孔していた従来の場合よりも、微細な穿孔パターンをグリーンシート11に形成させることができる。

また、シートパンチング工程で穿孔する孔  $h$  のサイズは、焼成時の収縮率を考慮して決定する。例えば、焼成後に直径 1 mm の空隙が形成されたフォトニック結晶 10 を得たい場合には、シートパンチング工程では 1.1 ~ 1.3 mm 程度の孔  $h$  を穿孔すればよい。焼成前の誘電体ブロック 13 が 50 ~ 60 % 程度の相対密度をもち、それが焼成により 100 % の密度になると仮定すると、その線収縮率は 15.7 ~ 20.6 % となる。この場合に、焼成後に直径 1 mm の空隙が形成されたフォトニック結晶 10 を得たいとすると、シートパンチング工程では 1.19 ~ 1.26 mm 程度の孔  $h$  を穿孔すればよい。

また、3次元周期構造のフォトニック結晶を最終的に得たい場合には、3次元構造を複数の薄層の積層体と考え、各グリーンシート 11 について、各々の層に相当する形状に穿孔すればよい。なお、穿孔方法は、2次元周期構造のフォトニック結晶 10 を作製する場合と同様である。

#### 【0028】

##### <シート積層工程>

図3(c)に示すように、シート積層工程では、孔  $h$  が所定パターンで穿孔されたグリーンシート 11 を積層し、熱圧着する。この熱圧着は、グリーンシート 11 を1枚積層する毎に行ってもよいし、複数枚積層してから行ってもよい。グリーンシート 11 の積層および熱圧着により、図3(d)に示すような所定パターンの空隙が形成された誘電体ブロック 13 が最終的に得られる。つまり、熱圧着はグリーンシート 11 を一体化するために行う。

熱圧着の際の加熱温度は、グリーンシート 11 を作製する際に用いた樹脂成分に依存する。例えば、シート作製に用いた樹脂がアクリル樹脂である場合には、加熱温度を 70 ~ 90 °C に設定すればよい。また、圧力は、シートの厚さに応じて適宜設定すればよいが、20 ~ 80 kgf / cm<sup>2</sup> 程度に設定すればよい。あまり温度が高すぎると、もしくは圧力が高すぎると、グリーンシート 11 に形成した孔  $h$  の形状が著しく変化し、誘電体ブロック 13 中の空隙が潰れてしまう。誘電体ブロック 13 中の空隙が潰れると、所望のパターンを有するフォトニック結晶 10 を最終的に得ることが困難となる。一方、温度が低すぎると、もしくは圧力が低すぎると、グリーンシート 11 同士の結合が不十分となり、剥がれが生

じてしまう。グリーンシート 11 同士の結合が不十分である場合には、焼成後にデラミネーションやクラックが発生し、やはり所望のパターンを有するフォトリソグラフィック結晶 10 を最終的に得ることが困難となる。

#### 【0029】

孔 h が形成されたグリーンシート 11 を積層して得られた誘電体ブロック 13 には、所定パターンの空隙が形成されることとなる。図 3 (d) の例では、円柱状の空隙が、誘電体ブロック 13 の表裏面を貫通するようにして多数形成されている。

なお、図 3 (d) では、グリーンシート 11 の積層数が 6 枚の例を示したが、積層数は特に限定されるものではなく、最終的に得たいフォトリソグラフィック結晶 10 のサイズおよびグリーンシート 11 の厚さに応じて適宜決定する。

#### 【0030】

以上のように、シート作製工程、シートパンチング工程、シート積層工程を経ることで、誘電体ブロック 13 が得られる。

#### 【0031】

##### <切り出し工程>

切り出し工程では、最終的に得られるフォトリソグラフィック結晶 10 の用途に応じて、誘電体ブロック 13 を所定形状に切り出す（なお、所定形状に切り出された後の誘電体ブロック 13 を、適宜「成形体」と称する）。

#### 【0032】

##### <脱バインダ処理>

成形体には、グリーンシート 11 に相当する部分に多くの樹脂成分が含有されているため、焼成工程に先立ち、予め脱バインダ処理を行う。脱バインダ処理は通常の条件、つまり、バインダが分解でき、ネックグロスが始まらない条件で行えばよい。例えば、大気中、昇温速度：30～120℃/h、保持温度：400～600℃、保持時間：0～2時間で脱バインダ処理を行う。

脱バインダ処理を行った後に得られる成形体をそのままフォトリソグラフィック結晶 10 として用いてもよい。成形体中の誘電体セラミックスは第 1 の誘電体 1 となり、一方、第 1 の誘電体 1 における所定パターンの空隙内に存在する空気が第 2 の誘



電体 2 となる。

以下に示す焼成工程を行い、成形体を焼結体とすることで、機械的強度や比誘電率がさらに向上したフォトニック結晶 10 を得ることができる。

#### 【0033】

##### <焼成工程>

脱バインダ処理を行った後、焼成工程に進む。焼成工程では、成形体を所定の雰囲気温度に加熱保持する。

焼成条件は、誘電体セラミックスの種類等に応じて適宜設定すればよい。例えば、大気中、昇温速度：300～1200℃/h、保持温度：800～1000℃、保持時間：0.1～3時間で焼成する。

#### 【0034】

以上、詳述したように、第 1 の実施形態では、厚さ方向に貫通する孔 h をグリーンシート 11 に所定パターンで穿孔し、所定パターンの孔 h が穿孔されたグリーンシート 11 を積層することで、所定パターンの空隙が周期的に配置された誘電体ブロック 13 を得るようにした。複雑な工程を要しない第 1 の実施形態におけるフォトニック結晶 10 の製造方法によれば、フォトニック結晶 10 を簡易かつ短時間で作製することができる。よって、第 1 の実施形態におけるフォトニック結晶 10 の製造方法は、量産性に優れる。

第 1 の実施形態では、他の誘電体材料よりも比誘電率が高い誘電体セラミックスを使用してフォトニック結晶 10 を作製するようにしたので、素子サイズを小さくすることができる。さらに、比誘電率が高い誘電体セラミックスと、比誘電率が 1 である空気とを使用してフォトニック結晶 10 を作製するようにしたので、両誘電体の比誘電率の比率を大きくすることができ、広帯域のバンドギャップを得ることができる。第 1 の実施形態におけるフォトニック結晶 10 は、特にマイクロ波～サブミリ波領域にバンドギャップを持ち、導波路、フィルタ、レゾネータ、分波器等として好適に用いられる。

#### 【0035】

第 1 の実施形態では、厚さ方向に貫通する孔 h をグリーンシート 11、つまりシート状部材に所定パターンで穿孔し、この穿孔されたグリーンシート 11 を積

層することで、所定パターンの空隙が周期的に配置された誘電体ブロック 13 を得るようにした。ある程度の厚さを有するブロック状部材に穿孔するよりも、薄いグリーンシート 11 に穿孔する方が容易であり、かつ微細な穿孔パターン（例えば直径 2 mm 以下、さらには直径 0.1 ~ 1.5 mm 程度）とすることができる。こうした微細な穿孔パターンが形成されたグリーンシート 11 を積層することで、従来法では得ることが困難であった微細なパターンを有する新規なフォトリソグラフィ結晶 10 を得ることも可能となる。

#### 【0036】

なお、図 1 ではいわゆるハニカム構造のパターンを有するフォトリソグラフィ結晶 10 を示したが、グリーンシート 11 の穿孔パターンを変更することで、他の構造パターンを有するフォトリソグラフィ結晶 10 を得ることもできる。

また、上述したシートパンチング工程では、グリーンシート 11 に一度に複数の孔 h を形成する例を示したが、少量多品種に対応する場合には、孔のパターンに対応してパンチの動作を制御して、一孔ずつ穿孔することもできる。孔のサイズを変えるときには、径が異なる複数のパンチを用意し、コンピュータで使用するパンチを選定することができる。

このように、シートパンチングをコンピュータ制御で行うことにより、パターン変更に伴うコストや時間をほとんど要することなく、少量多品種に対応したフォトリソグラフィ結晶 10 を作製することができる。

#### 【0037】

シート積層工法を採用した第 1 の実施形態では、微細な孔 h がその表裏面を貫通したフォトリソグラフィ結晶 10 を容易に得ることができる。グリーンシート 11 それぞれについて穿孔パターンが同一である例を示したが、穿孔パターンを各シート毎に適宜変更させることももちろん可能である。例えば、3次元周期構造のフォトリソグラフィ結晶を作製する場合には、グリーンシート 11 の穿孔パターンを各シート毎に適宜変更すればよい。例えば、図 7 に示したヤブロンバイトを第 1 の実施形態の方法で作製する場合には、厚さ方向に貫通する孔 h が三角格子状に配置されるという穿孔パターンを、各シート毎に適宜変更すればよい。このように、シート積層工法を採用した第 1 の実施形態では、パターンの形状を適宜選択する

ことで、所望の周期構造を備えたフォトニック結晶 10 を得ることができるため、周期構造の自由度も高い。

### 【0038】

#### <第2の実施形態>

いわゆる印刷工法を用いて誘電体ブロックを形成し、図1に示した形状を備えたフォトニック結晶 10 を得る例を、第2の実施形態として示す。

### 【0039】

図5は、第2の実施形態におけるフォトニック結晶 10 の製造方法のフローチャートである。また、図6は、図5中に示した印刷工程を模式的に示す図である。

### 【0040】

図5に示すように、第2の実施形態では、誘電体セラミックスおよび樹脂等を混合し誘電体ペーストを作製する誘電体ペースト作製工程、誘電体ペースト作製工程で得られた誘電体ペーストを所定パターンに印刷する印刷工程と、誘電体ペーストを乾燥させてセラミックス組成体とする乾燥工程と、印刷および乾燥を繰り返すことで得られる誘電体ブロックを所定形状に切り出す切り出し工程、所定形状に切り出された成形体を焼成する焼成工程を含む。

以下、図5に示した各工程について詳述する。

### 【0041】

#### <誘電体ペースト作製工程>

誘電体ペースト作製工程では、まず、誘電体セラミックス粉末、バインダ樹脂および分散媒をボールミルやらいかい機等で混合して誘電体ペーストを得る。

誘電体セラミックス粉末としては、上述した  $\text{BaO}-\text{TiO}_2$ -希土類系セラミックス粉末等を用いることができる。誘電体セラミックス粉末の量は、誘電体ペーストに対して約 20～60 wt % とすればよい。また、誘電体セラミックス粉末の平均粒径は、上述の場合と同様に、0.1～20  $\mu\text{m}$  程度とすればよい。

バインダ樹脂としてはアクリル系樹脂、ブチラール系樹脂、エチルセルロース系樹脂等を用いることができる。バインダ樹脂の量は誘電体セラミックス粉末に対して約 4～10 wt % とすればよい。

また、分散媒としては、ブチルカルビトール、ブチルカルビトールアセテート、ターピネオール等の各種有機溶剤を用いることができる。分散媒の種類や量を適宜選択することで、誘電体ペーストの粘度を調整することができる。例えば、ブチルカルビトールは粘度が低く、一方、ターピネオールは粘度が高い。よって、両者を適当な比率で混合して分散媒とすることで、誘電体ペーストの粘度を印刷工法に適した粘度とすることができる。

誘電体ペーストの粘度が低すぎると、ペーストだれが起き、続く印刷工程で所望の印刷パターンを形成することが困難となる。また、粘度が高すぎると、誘電体ペーストのスクリーン離れが悪くなり、所望のパターンの印刷が困難となる。よって、誘電体ペーストの粘度は注意深く調整する必要がある。なお、誘電体ペーストの粘度は、印刷パターンや印刷工程で用いる印刷工法等も考慮して、適切な範囲に調整する。印刷工法としてスクリーン印刷工法を採用する場合には、誘電体ペーストの粘度は500～50000cp程度とすればよい。

#### 【0042】

必要に応じて、分散剤をさらに添加して誘電体ペーストを作製することができる。分散剤は、使用する誘電体セラミックス粉末の種類に応じて選択する必要があるが、例えばオレフィンマレイン酸コポリマーやオレイン酸を分散剤として用いることができる。分散剤を添加する場合には、その添加量を誘電体セラミックス粉末に対し、0.1～5wt%程度とすればよい。なお、誘電体ペーストに対し、さらに可塑剤を添加してもよい。可塑剤の添加量は、誘電体セラミックス粉末に対し、0.1～5wt%程度とすればよい。

#### 【0043】

##### <印刷工程、乾燥工程>

印刷工程では、スクリーン印刷工法等を用いて誘電体ペーストを所定の印刷パターンで印刷し、続く乾燥工程では誘電体ペーストを乾燥させてセラミックス組成体とする。

図6は、印刷工程を模式的に示す断面図である。

まず、図6(a)に示すように、1層目を構成することとなる誘電体ペーストをフィルム（例えばPETフィルム）F上に所望の印刷パターンで印刷する。こ

ここで、印刷パターンは、最終的にどのような周期構造を有するフォトニック結晶 10 を得たいか、に応じて決定する。例えば、最終的に図 1 に示したようなハニカム構造のフォトニック結晶 10 を得たい場合には、図 4 に示したような印刷パターンを採用する。図 4 に示した印刷パターンを採用した場合には、厚さ方向に貫通した孔  $h$  が 6 角格子状に規則的に形成されたセラミックス組成体 21 を形成する。印刷後、印刷された誘電体ペーストは、加熱乾燥または自然乾燥される。

続いて、図 6 (b) に示すように、1 層目を構成するセラミックス組成体 21 の上に、2 層目を構成することとなる誘電体ペーストを 1 層目と同じ印刷パターンで印刷し、1 層目と同様に乾燥させる。1 層目を構成するセラミックス組成体 21 には孔  $h$  が所望の 2 次元周期パターンで形成されているが、この孔  $h$  を除く部分に、2 層目を構成することとなる誘電体ペーストが重ねて印刷される。これにより、厚さ方向に貫通した孔  $h$  が所定パターンで形成された新たなセラミックス組成体 21 が、1 層目を構成するセラミックス組成体 21 の上に積層される。

同様の手順で、所望の厚さを有する積層体が得られるまで、印刷および乾燥を繰り返す。これにより、図 6 (c) に示すような、セラミックス組成体 21 の積層体、つまり、所定パターンの空隙が形成された誘電体ブロック 13A が得られる。なお、原則、印刷工法ではプレスする必要はないが、誘電体ブロック 13A に対して熱プレス等を行ってもよい。熱プレスされた状態の誘電体ブロック 13A を図 6 (d) に示しておく。

#### 【0044】

また、印刷工法はスクリーン印刷工法に限定されるものではなく、セラミックス組成体 21 の厚さに応じてグラビア印刷、凸版印刷、オフセット印刷等の公知の印刷工法を適宜選択することができる。

#### 【0045】

##### <切り出し工程>

印刷工程後、基体としてのフィルム F は誘電体ブロック 13A から剥離され、続く切り出し工程に進む。切り出し工程では、最終的に得られるフォトニック結晶 10 の用途に応じて、誘電体ブロック 13A を所定形状に切り出す（なお、所定形状に切り出された後の誘電体ブロック 13A を、適宜「成形体」と称する）

## 【0046】

## ＜脱バインダ処理＞

切り出し工程後に得られる成形体には、多くの樹脂成分が含有されているため、焼成工程に先立ち、予め脱バインダ処理を行う。脱バインダ処理は、第1の実施形態で示したのと同様の条件で行えばよい。

脱バインダ処理を行った後に得られる成形体をそのままフォトリソグラフィ結晶10として用いてもよいが、以下に示す焼成工程を行い、成形体を焼結体とすることで、機械的強度や誘電率がさらに向上したフォトリソグラフィ結晶10を得ることができる。

## 【0047】

## ＜焼成工程＞

脱バインダ処理を行った後、焼成工程に進む。焼成工程も、第1の実施形態で示したのと同様の条件で行えばよい。ここでの説明は割愛する。

## 【0048】

以上、詳述したように、第2の実施形態では、所定の印刷パターンで誘電体ペーストを順次印刷し、所定パターンの空隙が周期的に配置された誘電体ブロック13Aを得ることで、フォトリソグラフィ結晶10を得るようにした。第2の実施形態で示した方法も複雑な工程も要しないことから、フォトリソグラフィ結晶10を簡易かつ短時間で作製することができる。よって、第2の実施形態におけるフォトリソグラフィ結晶10の製造方法も、量産性に優れる。印刷工法を採用した第2の実施形態でも、微細な孔hがその表裏面を貫通したフォトリソグラフィ結晶10を容易に得ることができる。

第2の実施形態でも、他の誘電体材料よりも比誘電率が高い誘電体セラミックスを使用してフォトリソグラフィ結晶10を作製するようにしたので、素子サイズを小さくすることができる。さらに、比誘電率が高い誘電体セラミックスと、比誘電率が1である空気とを使用してフォトリソグラフィ結晶10を作製するようにしたので、両誘電体の比誘電率の比率を大きくすることができ、広帯域のバンドギャップを得ることができる。第2の実施形態におけるフォトリソグラフィ結晶10も、特にマ

マイクロ波～サブミリ波領域にバンドギャップを持ち、導波路、フィルタ、レゾネータ、分波器等として好適に用いられる。

なお、ハニカム構造の周期構造を備えたフォトニック結晶 10 を得る例を示したが、印刷パターンを所望の周期構造に合わせて適宜選択することで、他の 2 次元周期構造のパターンを備えたフォトニック結晶 10 を容易に得ることができる。また、印刷工法で作製したセラミックス組成体 21 を、印刷工法で積層する例を示したが、印刷工法で作製したセラミックス組成体 21 を第 1 の実施形態で示したシート積層工程のような要領で積層してもよい。

#### 【0049】

##### 【実施例】

以下、本発明を具体的な実施例に基づいて説明する。

##### (実施例 1)

図 2 のフローチャートに基づきフォトニック結晶を作製した例を、実施例 1 として示す。

誘電体セラミックス粉末として、平均粒径が  $1.0\ \mu\text{m}$  の  $\text{BaO}-\text{Nd}_2\text{O}_3-\text{TiO}_2-\text{B}_2\text{O}_3$  系粉末（比誘電率：95）を準備した。

はじめに、誘電体セラミックス粉末、分散剤、バインダ樹脂および分散媒とをらいかい機を用いて混合し、スラリー化した。そして、ドクターブレード法により、スラリーをシート化し、 $82\text{mm}\times 82\text{mm}$  のグリーンシートを作製した。なお、第 1 の誘電体セラミックス粉末、バインダ樹脂および分散媒の比率は、 $v_o 1\%$  で 23 : 11 : 66 とした。分散剤、バインダ樹脂および分散媒の種類および分散剤の添加量は以下の通りとした。

#### 【0050】

分散剤：オレフィンマレイン酸コポリマー（商品名：共栄（株）製 フローレン G-700）

分散剤の添加量：誘電体セラミックス粉末に対して、 $1.5\text{wt}\%$

バインダ樹脂：アクリル樹脂

分散媒：トルエン

#### 【0051】

次いで、図4に示したパターンが形成されたパンチを用いて、グリーンシートにハニカム構造の孔を形成した。なお、孔の直径は1mmとした。

ハニカム構造の孔が形成されたグリーンシートを60枚積層して、所定の空隙パターンが形成された誘電体ブロックを得た。なお、熱圧着はグリーンシートを1枚積層する毎に行った。熱圧着の条件は以下の通りである。

【0052】

圧力：45 kgf/cm<sup>2</sup>

加熱温度：85℃

保持時間：1秒

【0053】

こうして得られた誘電体ブロックに対して以下の条件で脱バイнда処理を行い、その後、焼成して試料を得た。なお、この試料のサイズは、10.6mm×4.3mm×18mmである。

【0054】

<脱バイнда処理条件>

雰囲気：空気

昇温速度：60℃/h

保持温度：500℃

保持時間：0

<焼成条件>

雰囲気：空気

昇温速度：600℃/h

保持温度：910℃

保持時間：1h

【0055】

得られた試料を導波管内に静置し、ネットワークアナライザ (Agilent Technologies社製 HP-8510C) にて反射および透過特性を測定した (Sパラメータを測定した)。その結果、Kバンドに属する22~25GHzにて、30dB以上の減衰がTE波に対して確認された。



## 【0056】

## (実施例 2)

図 5 のフローチャートに基づきフォトニック結晶を作製した例を、実施例 2 として示す。

誘電体セラミックス粉末として、平均粒径が  $1.0 \mu\text{m}$  の  $\text{BaO}-\text{Nd}_2\text{O}_3-\text{TiO}_2-\text{B}_2\text{O}_3$  系粉末 (比誘電率: 95) を準備した。

はじめに、誘電体セラミックス粉末、バインダ樹脂、分散媒および分散剤とをらいかい機を用いて混合し、誘電体ペーストを作製した。この際、バインダ樹脂は誘電体セラミックス粉末に対して 3 wt %、分散媒は誘電体セラミックス粉末に対して 30 wt %、分散剤は誘電体セラミックス粉末に対して 1 wt % 添加し、粘度が 20000 cp の誘電体ペーストを得た。分散剤、バインダ樹脂および分散媒の種類は以下の通りとした。

そして、スクリーン印刷工法により、誘電体ペーストを基体となる PET フィルムに印刷し、乾燥させて 1 層目を構成するセラミックス組成体を得た。得られたセラミックス組成体の上に、誘電体ペーストを重ねて印刷し、乾燥するという工程を繰り返し、誘電体ブロックを得た。なお、印刷パターンは、図 4 に示したハニカム構造のものとし、孔の直径は 1 mm とした。

## 【0057】

分散剤：オレフィンマレイン酸コポリマー (商品名：共栄 (株) 製 フローレン G-700)

バインダ樹脂：エチルセルロース

分散媒：ブチルカルビトールおよびターピネオールの混合溶液 (50 vol % : 50 vol %)

## 【0058】

ハニカム構造の孔が形成された厚さ  $100 \mu\text{m}$  のセラミックス組成体をスクリーン印刷で 50 回積層、つまり重ね印刷して、所定の空隙パターンが形成された誘電体ブロックを得た。

## 【0059】

誘電体ブロックに対して実施例 1 と同様の条件で脱バインダ処理を行い、その

後、実施例 1 と同様の条件で焼成して試料を得た。なお、この試料のサイズは、 $10.6\text{ mm} \times 4.3\text{ mm} \times 18.0\text{ mm}$ である。

#### 【0060】

得られた試料を導波管内に静置し、ネットワークアナライザ (Agilent Technologies社製 HP-8510C) にて反射および透過特性を測定した (Sパラメータを測定した)。その結果、Kバンドに属する  $22 \sim 25\text{ GHz}$  にて、 $25\text{ dB}$  以上の減衰が TE 波に対して確認された。

#### 【0061】

##### 【発明の効果】

以上説明したように、本発明によれば、量産性に優れたフォトニック結晶の製造方法が提供される。また、本発明によれば、小型かつ高特性のフォトニック結晶を、簡便に製造することができるとともに、微細なパターンを備えたフォトニック結晶を得ることができる。

##### 【図面の簡単な説明】

【図 1】 図 1 は本実施の形態におけるフォトニック結晶を示す斜視図である。

【図 2】 第 1 の実施形態におけるフォトニック結晶の製造方法のフローチャートである。

【図 3】 図 2 中に示した誘電体ブロック作製工程を模式的に示す図である。

【図 4】 2次元周期構造を有するフォトニック結晶を作製する際に用いるパターンの一例を示す図である。

【図 5】 第 2 の実施形態におけるフォトニック結晶の製造方法のフローチャートである。

【図 6】 印刷工程を模式的に示す図である。

【図 7】 3次元周期構造を有するフォトニック結晶として知られるヤブロンノバイト (Yablonovite) の斜視図である。

##### 【符号の説明】

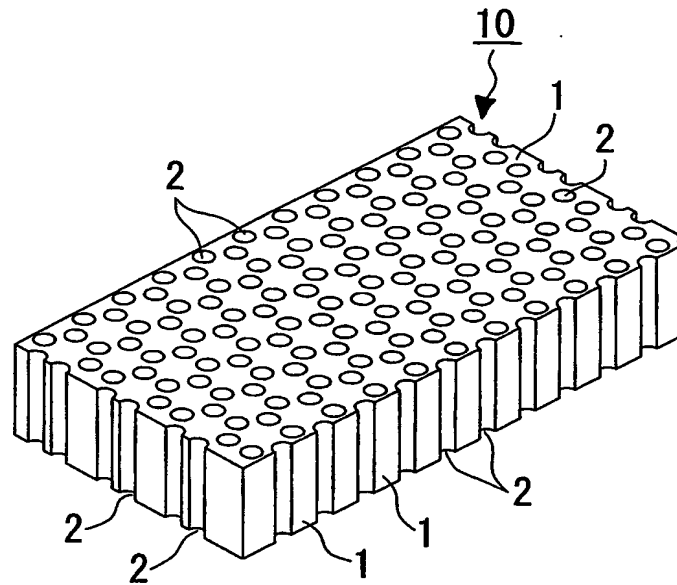
1…第 1 の誘電体、2…第 2 の誘電体、10…フォトニック結晶、11…グリー

ンシート（セラミックス組成体、シート状部材）、13、13A…誘電体ブロック、21…セラミックス組成体、h…孔

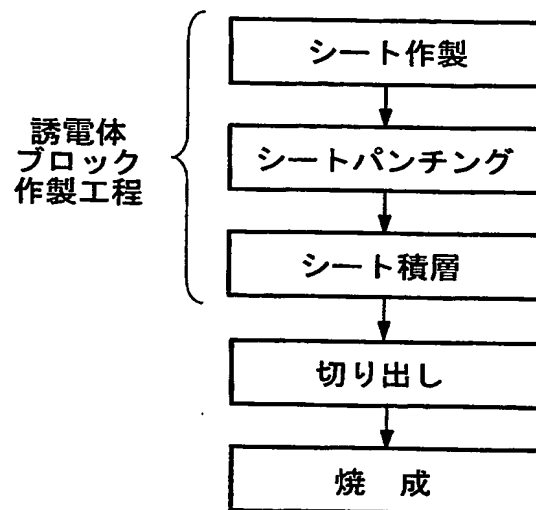
【書類名】

図面

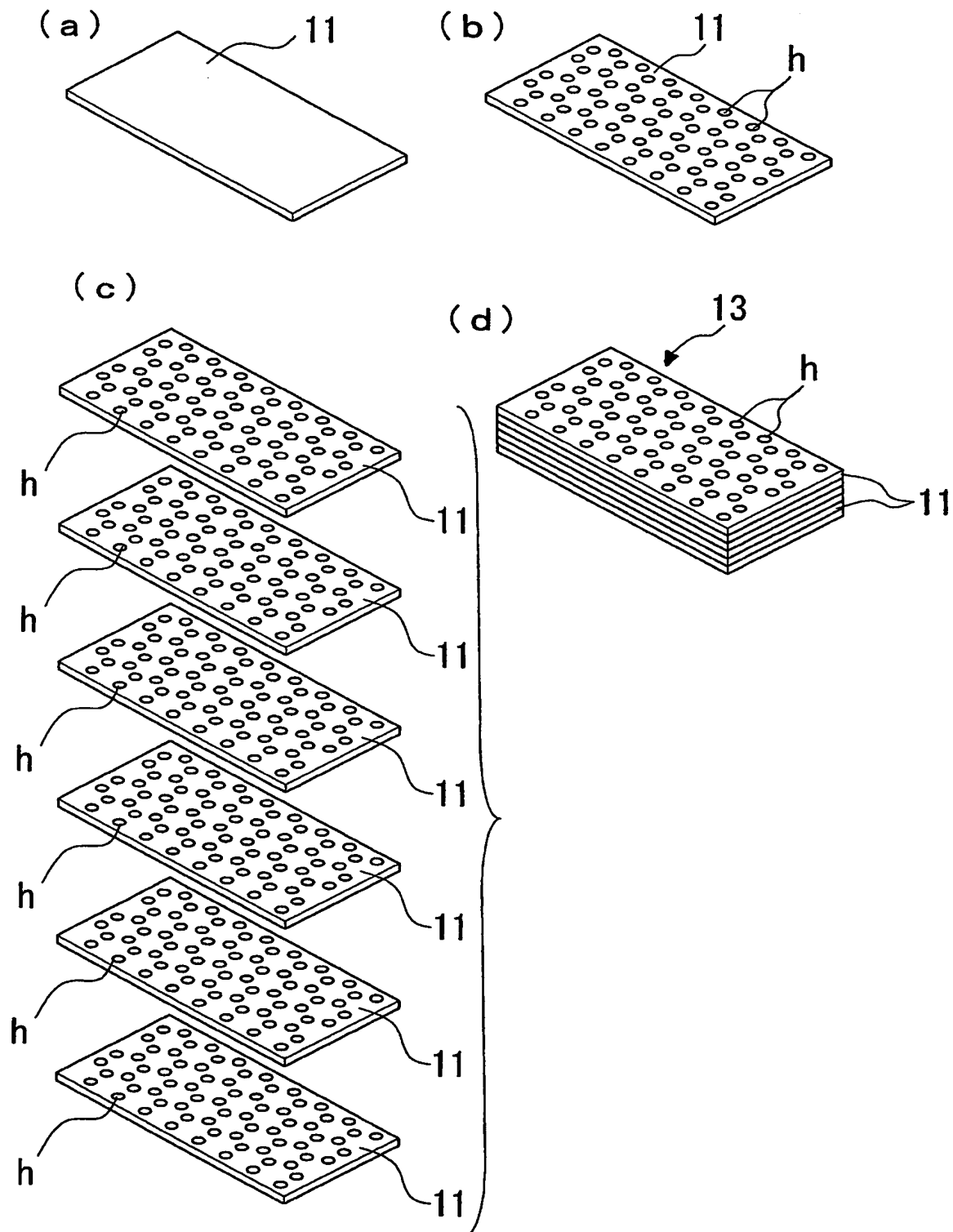
【図 1】



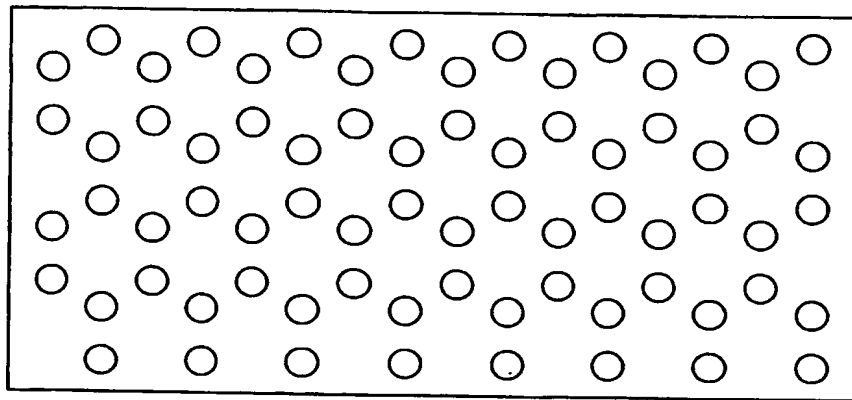
【図 2】



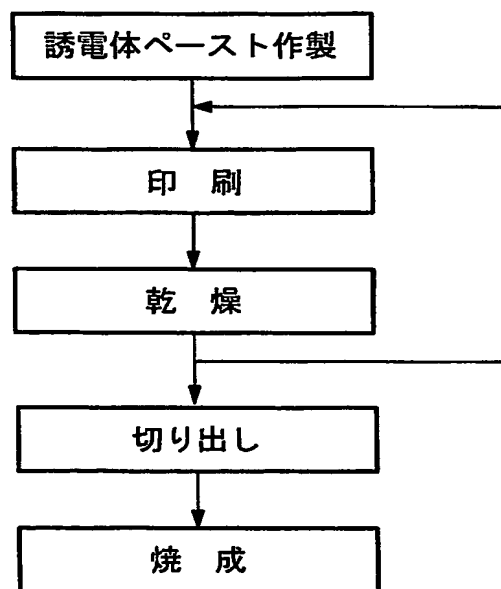
【図 3】



【図 4】

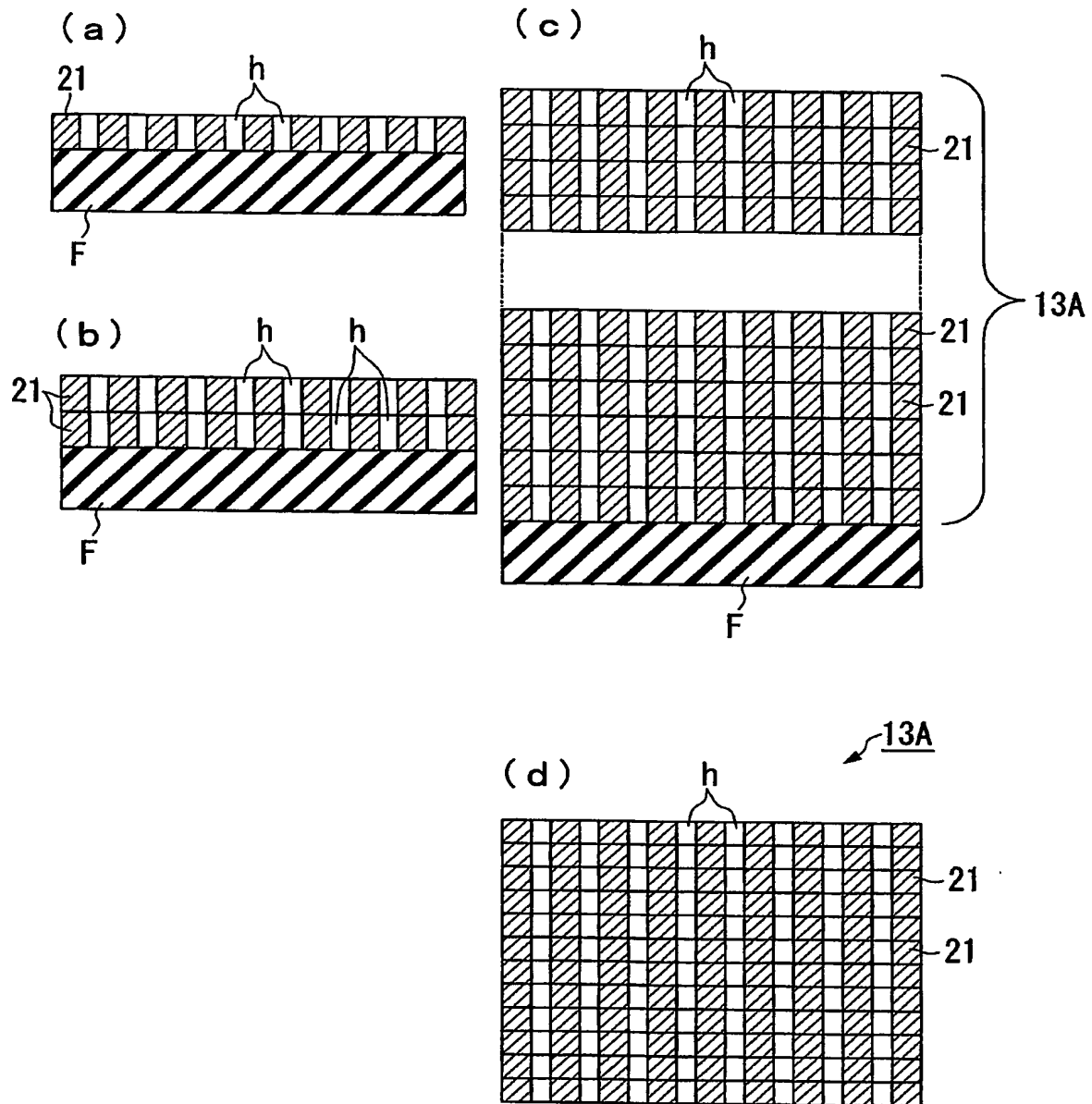


【図5】

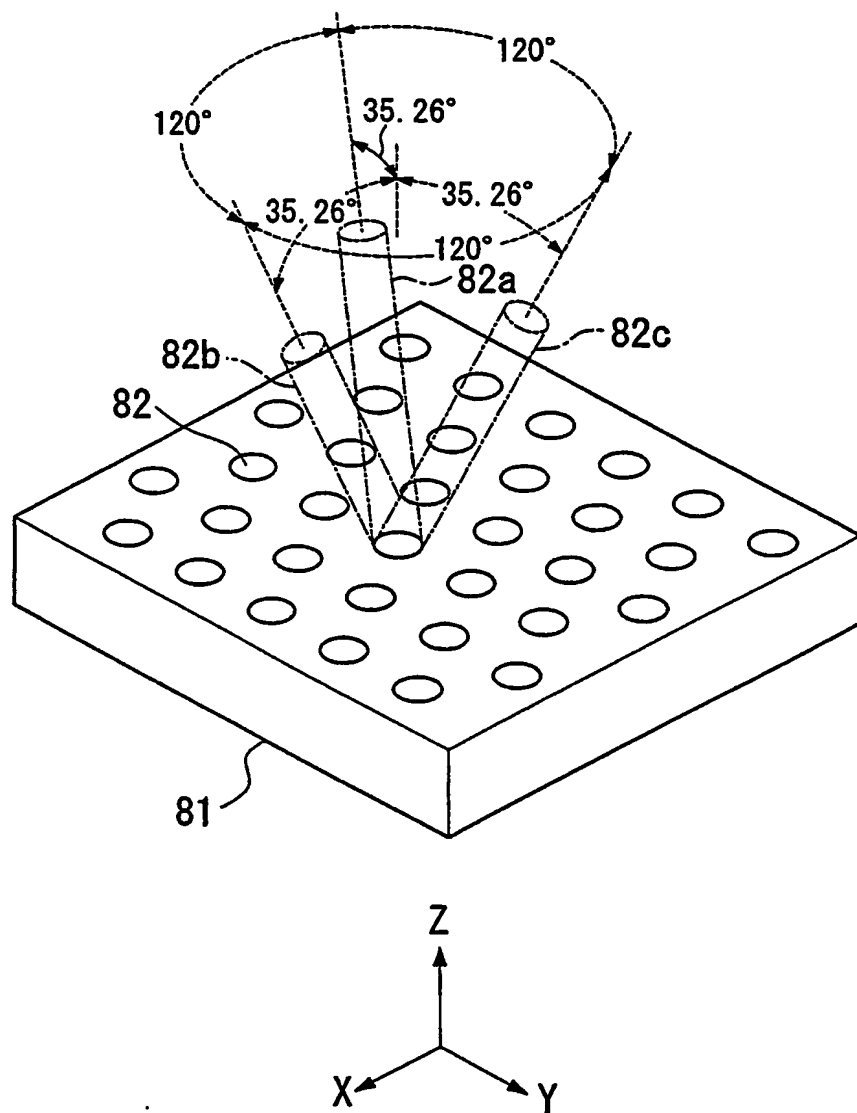




【図 6】



【図 7】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 量産性に優れたフォトニック結晶の製造方法等を提供することを課題とする。また、小型かつ高特性のフォトニック結晶を簡便に得るための技術を提供する。

【解決手段】 誘電体セラミックスを含むグリーンシート 11 に、厚さ方向に貫通する孔 h を所定パターンで形成する。続いて、所定パターンの孔 h が形成されたグリーンシート 11 を積層することで、所定パターンの空隙が周期的に配列された誘電体ブロック 13 を得るようにした。誘電体ブロック 13 の空隙には、誘電体としての空気が配置される。これにより、特に複雑な工程を要することなく、誘電体セラミックスと空気とが周期的に配置されたフォトニック結晶を得ることが可能となる。誘電体セラミックスは、高分子材料等の他の誘電体よりも比誘電率が大きいいため、誘電体として誘電体セラミックスを使用することで、フォトニック結晶の小型化を図ることができる。

【選択図】 図 3

特願 2 0 0 3 - 2 0 4 9 5 0

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[ 0 0 0 0 0 3 0 6 7 ]

1. 変更年月日  
[変更理由]  
住 所  
氏 名

2 0 0 3 年 6 月 2 7 日  
名称変更  
東京都中央区日本橋 1 丁目 1 3 番 1 号  
T D K 株式会社